

MARTIN SCHUBERT

Wie Wissenschaft Wissen schafft

Ein Überblick über 2500 Jahre Wissenschaftstheorie

Ein kurzer Überblick über 2500 Jahre Wissenschaftstheorie. Wie soll das auf den wenigen Seiten dieses Buches gelingen, neben klarer fokussierten Beiträgen von Experten ihrer jeweiligen Zunft? Schließlich trägt der Autor weder einen universitären Philosophenhut, noch hat er sich irgendwo einen Ruf als Wissenschaftstheoretiker erarbeitet. Schlicht ein Physiker, mit Doktor zwar, aber der aktiven Forschung längst entlaufen. Weit genug hoffentlich, um den Wissenschaftsbetrieb von außen betrachten zu können, ohne sich im eigenen Handeln zu verfangen. Der folgende Text ist daher aus der Perspektive eines Studium-generale-Programm-Verantwortlichen geschrieben, den die stete Neugier ebenso umtreibt wie die innere Verpflichtung, den überantworteten Studierenden Erfahrungsräume für das Hinterfragen von Gewissheiten zu öffnen und sie zum Handeln in einer komplexer und sich dynamisch entwickelnden Welt zu befähigen.

Ein Abrollen von 2500 Jahren Wissenschaftsgeschichte stünde dieser Motivationslage eher entgegen. Stattdessen soll sich die Betrachtung um die beiden Fragen »Wie kommen wir zu wissenschaftlicher Erkenntnis?« und »Wie entsteht wissenschaftlicher Fortschritt?« entwickeln.

Die Anfänge des Philosophierens, des Nachdenkens über die Welt, die Natur, über Ursachen und Gründe liegen in der griechischen Antike bei Thales von Milet, womit der Zeitstrahl seinen Startpunkt erhält. Platon darf nicht fehlen, und schon gar nicht Aristoteles, dem wir die Aufteilung in wissenschaftliche

Einzeldisziplinen zuschreiben dürfen und dessen Logikgebäude unser westlich-abendländisches Denken bis heute prägt und manchmal auch eingrenzt.

Gern unterschätzt oder belächelt wird die Scholastik, das wissenschaftliche System des Mittelalters. Dieses System erstarrte nach und nach, selbst die Wiederentdeckung der Aristotelischen Schriften konnte das Ende der Scholastik nicht aufhalten. Elementare Grundannahmen wurden aufgegeben und die Wissenschaft nahm einen ganz neuen Anlauf. Mit gehörigem Abstand lässt sich aber erkennen, dass nicht alles aus der Scholastik unter die Räder der modernen Wissenschaft geraten ist, die sich seit der Renaissance so flott zu unser aller Wohl entwickelt hat.

Wie wissenschaftlicher Fortschritt überhaupt zustande kommt, hat Sir Karl Raimund Popper am Anfang des 20. Jahrhunderts grundlegend hinterfragt und mit dem Kritischen Rationalismus ein neues Kapitel in der Wissenschaftstheorie aufgeschlagen. Den von ihm geprägten Begriff der Falsifikation hört man auch außerhalb des akademischen Betriebs, obgleich Thomas S. Kuhn später aufzeigen konnte, dass wissenschaftlicher Fortschritt eben nicht durch Falsifikation, sondern durch einen Paradigmenwechsel mit revolutionärem Charakter erfolgt. Auch das ein Begriff, der sich aus der Fachwelt gelöst hat und heute in aller Munde ist. Es lohnt sich also, den Gedanken von Popper und Kuhn zu folgen und einen Blick auf deren Argumentation zu werfen.

Viele Beispiele, so die Frage nach dem Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild, entstammen der Sphäre der Physik. Der Grund dafür ist einfach: Sie stammen von Kuhn selbst, der von Hause aus Physiker war und in Berkeley und Princeton Geschichte der Naturwissenschaften gelehrt hat. Die eigene Physikervita macht es dem Autor dieses Textes leicht, den Beispielen zu folgen und sie zu beleuchten. Die Wichtigkeit und Erhabenheit der eigenen Disziplin wäre damit auch herausgearbeitet.

Und da wird sie offenbar, die unkritische Betrachtung des eigenen Fachgebietes, die feste Überzeugung, (natur-)wissen-

schaftliche Erkenntnis sei allen anderen Erkenntnisformen weit überlegen. Genau das ist einer der Ausgangspunkte in den Überlegungen von Paul Feyerabend, der mit seiner Anarchistischen Wissenschaftstheorie die Methoden dieser Disziplin pointiert infrage stellt.

Bei diesem Vorhaben – knapp zu erklären, wie Wissenschaft Wissen schafft – muss einiges auf der Strecke bleiben. Die Wissenschaftstheorie ist natürlich nicht mit Kuhn oder Feyerabend abgeschlossen. Die Trennschärfe mancher Begriffe würde einer Fachdiskussion sicher nicht standhalten, so etwa bei »These«, »Hypothese« und »Theorie«. Es soll aber gerade keine Fachpublikation vorgelegt werden, sondern ein allgemeinverständlicher Beitrag zu Begriffen und Methoden. Hie und da eine eingestreute Provokation oder vielleicht Vereinfachung soll zu kritischem Hinterfragen anregen. Wenn im Ergebnis auch das persönliche Verstehen von Politik, Klimadiskussion und Esoterik profitieren, ist das Ziel erreicht.

Thales von Milet – Das Wesen der Dinge

Einen Zeitpunkt festzulegen, an dem Wissenschaft ihren Anfang nimmt, ist kaum möglich, solange der Begriff »Wissenschaft« noch gar nicht mit Inhalt gefüllt ist. Technische Leistungen, wie der Bau der Pyramiden oder anderer antiker Weltwunder, wären nach heutigem Wissenschaftsverständnis kaum ohne Erkenntnisse der Ingenieurwissenschaften möglich gewesen. Da Babylonier und Ägypter uns aber keine konkreten Namen ihrer Denker hinterlassen haben und noch viel weniger über deren Forschungsergebnisse und Anekdoten, kommt ein Grieche zum Zug: Thales von Milet. Das antike Milet, in der heutigen Westtürkei gelegen, ist vielen Lesern sicher aus dem Berliner Pergamonmuseum bekannt, in dem das Markttor aus dem 2. Jhd. n. Chr. die Besucher beeindruckt. Thales (etwa 624–564 v. Chr.) ist allen, die den Schulstoff über rechtwinklige Dreiecke nicht ganz

erdrängt haben, vom Satz des Thales oder dem Thaleskreis¹ bekannt.

Tatsächlich hat er sich intensiv mit Astronomie und Mathematik beschäftigt und berechnete eine Sonnenfinsternis voraus, die auch tatsächlich eintrat. Als wohlhabender Geschäftsmann hatte er für derlei Überlegungen ausreichend Freiräume. Platon (etwa 428–347 v. Chr.) weiß über ihn die folgende Anekdote zu berichten: Eines Tages schaut er wieder einmal sinnend in den Himmel, stolpert und fällt in einen Brunnen. Eine Magd, die das sieht, lacht und sagt: »Du willst wissen, was am Himmel ist, aber du siehst nicht, was dir vor den Füßen liegt!« (zitiert nach Weisedel 14). Den gleichen Spott, so Platon, reiche man auch gegen Philosophen aus. »Denn in der Tat, ein solcher weiß nichts von seinem Nächsten und Nachbar, nicht nur nicht was er betreibt, sondern kaum ob er ein Mensch ist oder etwa irgend ein anderes Geschöpf. Was aber der Mensch *ist* und was einer solchen Natur ziemt anderes als alle anderen zu tun und zu leiden, das untersucht er und läßt es sich Mühe kosten, es zu erforschen« (Platon 197).

Thales fragt also nicht nach den Dingen, sondern nach dem *Wesen der Dinge*.

Aber was soll das sein: Das Wesen der Dinge? Vielleicht läßt sich »Ding« zum Einstieg etwas konkretisieren, etwa mit einem Teller als Ding. Wissenschaftstheoretiker und Philosophen mögen hier über die allzu grobe Banalisierung hinwegsehen.

Was ist also das Wesen eines Tellers? Oder noch einfacher: Was ist ein Teller? Ein rundes Objekt aus Porzellan oder Steingut, von dem man essen kann. Einverstanden? Und ein quadratischer Teller oder einer in Form eines Wankel-Kreiskolbenmotors²? Ein Teller aus Holz? Auch möglich! Und es gibt auch fein bemalte und durchbrochene Zierteller, die durch Schönheit, aber nicht

1 Satz von Thales: Konstruiert man ein Dreieck aus den beiden Endpunkten des Durchmessers eines Halbkreises und einem weiteren Punkt dieses Halbkreises, so erhält man immer ein rechtwinkliges Dreieck.

2 Der Kolben hat die Form eines bauchigen gleichseitigen Dreiecks, bei dem die Seiten aus drei abgeflachten Kreisbögen bestehen.

durch Funktionalität glänzen möchten. Von der ursprünglichen Definition ist nun nichts mehr geblieben. Aber doch hätten wir alle genannten Objekte sofort als Teller erkannt. Es muss also mehr an einem Teller sein, als wir über eine abschließende Aufzählung definieren können. Das Wesen des Tellers wird so nicht erfasst. Spötter könnten nun rufen: »Schöne Wissenschaftler seid ihr, könnt nicht einmal einen Teller abschließend beschreiben!«

Thales hat natürlich nicht über Teller sinniert. Aber er stellt Fragen wie: »Woher kommt das alles?«, »Was ist der Ursprung?« oder »Was ist das allumfassende Prinzip?«. Platon stellt ihn daher an den Anfang der Geschichte der Philosophie. Und Aristoteles pflichtet ihm bei: »Thales« sei »der Begründer dieser Art Philosophie« (Aristoteles 983).

Fragen nach den Ursachen, allgemeinen Prinzipien, dem Sinn und dem Zweck, den letzten Gründen, gehören zur Sphäre der Metaphysik. Ihr gegenüber steht die Physik, die sich den Naturerscheinungen durch wissenschaftliche Untersuchungen nähert. Physik und Metaphysik, Philosophie und Wissenschaft sind zu Thales Zeiten nicht getrennt zu betrachten. Im Anfang des philosophischen Nachdenkens darf man daher auch das Nachdenken über die Naturerscheinungen sehen. Und daher steht Thales von Milet am Beginn der hier erzählten Wissenschaftsgeschichte.

Platon – Die Idee der Gerechtigkeit

Rund 200 Jahre später tritt dann Platon auf, ein Schüler und großer Bewunderer des Sokrates (469–399 v. Chr), über dessen Wirken wir vor allem aus der Feder von Platon wissen. In Dialogform macht er uns mit Sokrates' Gedanken vertraut und man kann sich gut ins antike Athen zurückdenken, wo Sokrates auf einem Marktplatz ein zunächst harmloses Gespräch anfängt, eine unverfängliche Frage stellt, seinen Gesprächspartner durch unablässiges Nachfragen schließlich aber zu tiefen philosophischen Erkenntnissen führt. Es gibt kaum einen Philosophen,

dem durch 2400 Jahre hindurch eine ähnliche Wirkmächtigkeit zugeschrieben wird! Umso größer ist das Entsetzen, als er wegen seines angeblich verderblichen Einflusses auf die Jugend sowie Missachtung der Götter zum Tode verurteilt wird. Platon ist bitter enttäuscht vom attischen Staat: Ist es nicht hochgradig ungerecht, dass ein so großer Mann, der nur Gutes getan hat, den Schierlingsbecher trinken muss?

Das lässt ihn nach der Gerechtigkeit selbst fragen. Wie kann es denn sein, dass manche Handlungen gerecht sind, andere aber nicht? Was ist gerecht? Woher wissen wir, was gerecht ist? Was ist also das Wesen der Gerechtigkeit?

Ein jeder vermag eine Handlung als gerecht oder ungerecht einzuordnen, ebenso wie er einen Teller als solchen erkennt. Statt auf Lern- oder Sozialisationsprozesse – Erfahrung – führt Platon dieses Wissen auf Urbilder, sogenannte Ideen, zurück, die wir von Geburt an in uns tragen. Unsere Seelen haben all das anschauen dürfen, bevor wir ins irdische Dasein geboren wurden. Und nun können wir uns an all das erinnern. Beim kurzen Blick durch das Himmelsgewölbe haben wir die Welt gesehen, wie sie wirklich ist. Die Ideen sind das eigentlich Wirkliche; Das, was wir sehen oder messen können, hat bloß Teil daran. Auch wenn uns aus naturwissenschaftlicher Sicht die Vorstellung einer wandernden Seele und der Wiedergeburt heute befremdet, wirft Platon doch eine brisante Frage auf, die bis heute aktuell ist: Was ist Wirklichkeit, was können wir überhaupt erkennen? Die Stringtheorie, der unsere drei Raumdimensionen nicht genügen? Die theoretische Möglichkeit von Wurmlöchern? Dunkle Energie und dunkle Materie, die so heißen, weil wir keine Ahnung haben, was sich dahinter verbirgt? Diese Beispiele zeigen, dass Naturwissenschaftler sich vorstellen können, dass es hinter der sichtbaren Welt etwas anders zugehen könnte, als Sinne und Erfahrung uns nahelegen.

Über Paralleluniversen hatte Platon wahrscheinlich nicht nachgedacht, das wäre ihm vielleicht doch zu absurd gewesen. Und so arbeitete er an seiner Ideenlehre. Wie komme ich also nun zum Wesen der Gerechtigkeit und im Einzelfall auf ein ge-

rechtes Urteil? Wie komme ich von der Idee des Tellers an sich zum Erkennen des Tellers, der vor mir steht? Hier hilft uns die Deduktion, die Herleitung eines speziellen Falls aus einer allgemeineren, umfassenderen Aussage – logisches Schließen. Umgekehrt lässt sich dann nach der allgemeinsten und umfassendsten Idee suchen, der sich alle anderen unterordnen lassen und aus der sich alles andere logisch schließen lässt. Ganz an der Spitze dieser Argumentation findet Platon die Idee des Guten.

Und was hat es mit der Platonischen Liebe auf sich? Auch hinter dieser verbirgt sich eine Idee, nämlich die der Schönheit. Der umgangssprachliche Gebrauch als Synonym für eine Beziehung ohne sexuelles Interesse aneinander hat sich ganz von der ursprünglichen Bedeutung gelöst.

Aristoteles – Logik und die wissenschaftliche Methode

Der wohl bekannteste und wirkmächtigste Schüler Platons ist Aristoteles (etwa 384–322 v. Chr.). Er tritt als 17-Jähriger in Platons Akademie ein. Ganze zwanzig Jahre wirkt er dort, bis zu Platons Tod 347 v. Chr., und entwickelt aus der Beobachtung der Argumentationsformen die formale Logik, welche bis heute unser abendländisches Denken prägt. Sie ist das entscheidende Element bei der Deduktion und damit grundlegend für unser Verständnis von Wissenschaft.

Als Beispiel mag der folgende Syllogismus dienen, ein logischer Schluss, der aus einem Obersatz und einem Untersatz folgt:

Obersatz:	Alle Menschen sind sterblich
Untersatz:	Alle Griechen sind Menschen
Schlussatz:	<u>Alle Griechen sind sterblich</u>

Das ist unmittelbar einleuchtend, nicht nur dem Autor oder dem geneigten Leser, sondern schlicht allen vernünftigen Wesen. Das

macht die besondere Stärke des logischen Schlusses aus; er ist für alle nachvollziehbar, das Ergebnis ist für jeden zwingend das gleiche. Der Schluss ist also intersubjektivierbar, was für das wissenschaftliche Geschäft ein großer Vorzug ist und sich von anderen Erkenntnisformen abgrenzt.

Nach diesem Muster ist auch schnell ein zweites Beispiel zur Hand:

Obersatz:	Alle Sachsen sind schön
Untersatz:	<u>Alle Leipziger sind Sachsen</u>
Schlussatz:	Alle Leipziger sind schön

Auch das ist – auf den ersten Blick – unmittelbar einleuchtend, schließlich erzwingt der logische Schluss Zustimmung. Aber ist das wirklich wahr, sind alle Leipziger auch Sachsen? Natürlich nicht, und so zeigt dieses Beispiel eindrücklich, dass die Gültigkeit des logischen Schlusses nicht zwingend zu einer wahren Aussage führt. Nur wenn Ober- und Untersatz wahr sind, wird auch der Schlussatz wahr. Wahrheit und Gültigkeit sind in der Logik also zu trennen.

Mit Aristoteles' Logik lassen sich also aus allgemeinen, umfassenden Aussagen Erkenntnisse über spezielle Fälle ableiten, womit wir den ersten Grundmechanismus der wissenschaftlichen Erkenntnis beschrieben haben: die Deduktion. Sie ist wahrheitserhaltend, macht aber keine Aussage über die Wahrheit der Voraussetzungen. Vorsicht ist also angebracht, insbesondere bei Uneinigkeit über Grundannahmen. Das hat sich vielleicht auch Aristoteles gedacht, als er Platons Idee des Guten vom Thron der obersten Ableitungsinstanz verwiesen hat und stattdessen die Empirie, also das Erfahrungswissen, setzte. Ein guter Ausgangspunkt für die Wissenschaft.

Wahrheitserhaltend bedeutet umgekehrt aber auch, dass die Logik keine Quelle neuer Wahrheiten sein kann. Um neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen, braucht es einen weiteren Grundmechanismus, die Induktion: Aus Einzelfällen, also einzelnen Beobachtungsaussagen, wird auf eine allgemeine Aus-

sage geschlossen. Die wissenschaftliche Methode, die Aristoteles uns lehrt, ist also kein bloßes Faktensammeln, sondern die Kombination von Deduktion und Induktion.

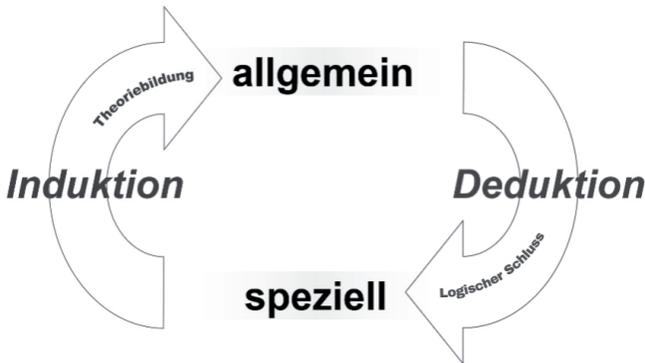


Abb. 1: Zusammenspiel von Induktion und Deduktion.

Die Induktion ist an einem Beispiel flugs erklärt: Am Anfang steht immer eine Beobachtung, etwa: »Gestern Morgen ging die Sonne auf«. Vielleicht gab es noch weitere beobachtete Sonnenaufgänge vorgestern oder letzten Dienstag. Empirie stützt sich schließlich auf Erfahrung und der Empiriker vermutet dahinter nun ein Muster, nämlich, dass die Sonne jeden Tag aufginge. Das ist der eigentliche Induktionsschritt. Aus einzelnen Beobachtungen wird auf ein regelmäßiges Muster geschlossen. Mit der nun gewonnenen Aussage »Jeden Morgen geht die Sonne auf« lässt sich dann per logischem Schluss eine Voraussage für den 3. Oktober 2030 oder jedes andere Datum treffen.

Das sieht nach einer verlässlichen Aussage aus, mit Sicherheit wahr ist sie aber nicht. Ein zweites Beispiel mag das illustrieren: Bei einem Waldspaziergang begegnen dem empirisch gesinnten Wanderer allerlei Bäume, deren Blätter ausnahmslos grün sind. Das Muster ist schnell erkannt: Alle Blätter von Bäumen sind grün. Die ganze Wissenschaft, die sich nun auf dieser Grundlage aufbauen mag, stürzt beim Anblick einer Blutbuche mit ihren

rotbraunen Blättern in sich zusammen. Vorsicht ist also geboten, wenn allgemeine Aussagen und Gesetzmäßigkeiten aufgrund von einzelnen Beobachtungsaussagen formuliert werden.

Diese Grenzen sind auch den Gelehrten der Antike bekannt – anders als die uns so vertraute Idee, Beobachtungsaussagen durch geschickt ausgeführte Experimente bei bestens bestimmten Randbedingungen zu gewinnen. Das Experiment spielt in der Antike noch keine Rolle, was der Mathematiker und Philosoph Bertrand Russell (1872–1979) in einer vergnüglichen Anekdote fasst: »Aristoteles beharrte darauf, dass Frauen weniger Zähne hätten als Männer. Obwohl er zweimal verheiratet war, kam er nie auf den Gedanken, seine Behauptung anhand einer Untersuchung der Münder seiner Frauen zu überprüfen« (Russell 94).³

Scholastik – Die Wissenschaft des Mittelalters

Im Mittelalter beschränkte sich der Unterricht in den Dom- und Klosterschulen auf die Weitergabe des Wissens längst vergangener Zeiten. In den sieben freien Künsten befasste man sich mit der Weisheit der Vorzeit, ohne eventuelle Widersprüche zu thematisieren, neue Fragen zu stellen oder Antworten zu suchen (vgl. *Brockhaus-Enzyklopädie* 19, 478). Ab dem neunten Jahrhundert entwickelt sich dann die scholastische Methode, man begann, sich den Fragen zu stellen. Wie können sich zwei Werke in ihren Aussagen widersprechen, wie sind die Gegensätze aufzulösen? In der Scholastik wurden die Grundlagen für unseren heutigen Wissenschaftsbetrieb geschaffen: Monographien, also Bücher, die den Wissens- und Diskussionsstand zu einem Thema zusammentragen, sowie Tagungen zu konkreten Frage-

3 Im Original: »Aristotle could have avoided the mistake of thinking that women have fewer teeth than men by the simple device of saking Mrs. Aristotle to keep her mouth open while he counted.« Und weiter: »He did not do so because he thought he know.« Die im Internet häufig kolportierte Variante mit den zwei Ehefrauen findet sich an dieser Stelle nicht.

stellungen einschließlich Verschriftlichung der Ergebnisse, den heutigen Proceedings entsprechend. Und auch eine einheitliche Wissenschaftssprache für den europaweiten Gedankenaustausch war selbstverständlich: Latein. Im Zentrum der Forschung standen aber noch immer die Bücher der Altvorderen, insbesondere theologische Schriften, nicht nur die Bibel.

Das antike Griechenland mit seiner so reichen Gedankenwelt lag schon länger hinter den Frühscholastikern als die Frühscholastik hinter dem 21. Jahrhundert und unseren eigenen Gedanken. Im Dunkel des Mittelalters war das Licht Aristoteles nicht mehr zu sehen.

Sein Licht aber war nicht erloschen. Ins Arabische übersetzt überdauerten seine Werke die Zeit und fanden über den Islam und die iberische Halbinsel den Weg zurück nach Europa (vgl. Mason 138). Aristoteles wurde erneut übersetzt und erleuchtete die Christenheit.⁴ Im 13. Jahrhundert, der Zeit der Hochscholastik, galten seine Bücher als nicht überbietbare Summe aller weltlicher Weisheit. Er selbst wurde gar als Vorläufer Christi in weltlichen Dingen gesehen, so wie Johannes der Täufer in geistlichen Dingen. Das brachte der Scholastik neuen Schwung.

Die Qualitäten der Deduktion waren bekannt und dank Aristoteles konnte man sich auf ihre Ergebnisse stets verlassen. Anders sah es mit Beobachtungen aus. Diese könnten stets falsch oder trügerisch sein. Keine gute Zeit für Freunde der Empirie. Die scholastische Methode ging daher von einem allgemeinen Prinzip oder einem Grundsatz aus, der nicht infrage stand, und kam durch logisch sauberes Folgern zu verlässlichen Ergebnissen – wenn man nur Aristoteles' Regeln korrekt zur Anwendung brachte.

4 Eine wichtige Rolle bei der Übersetzung vom Arabischen ins Lateinische spielten sprachkundige Juden in Spanien und Sizilien, von denen einige auch mit den griechischen Texten vertraut waren (vgl. Mason 138).

Allgemeine Prinzipien, für die Aristoteles bürgte, waren beispielsweise:

- Die Natur macht nichts vergeblich;
- Sie erzeugt immer das Beste, was sie hervorbringen kann;
- Der Mensch ist das vornehmste Lebewesen;
- Die Natur kümmert sich um das Höherwertige mehr als um das Geringerwertige.

Damit ließen sich die alten Fragen ganz neu diskutieren. Aber Neues entstand nicht. So kam die Scholastik in die Krise. Die Renaissance klopfte an die Tür und die Kritiker mehrten und artikulierten sich, so etwa Martin Luther (1483–1546) im Jahre 1555: »Denn die Scholastica Theologica nichts ist, denn eitel erdicht, erlogen, verflucht, teuflisch Geschwetze und Münchtrewm« (Luther 267).

Tatsachen – Das Ende der Scholastik

Mit Aristoteles wird auch die Antike insgesamt wiederentdeckt, wiedergeboren: Architektur und Kunst, das freie Denken jenseits theologischer Fragen. Man knüpft an die so glänzend erscheinende Vergangenheit an. Die Renaissance gibt ihren Protagonisten ungeahnte Freiheiten. Leonardo da Vinci (1452–1519) macht den menschlichen Körper zum Forschungsobjekt, Michelangelo bringt Adam auf eine Ebene mit Gott⁵ und bringt mit seinem David⁶ den Menschen zu ungekannter Größe. Und was als unerhörte Anmaßung galt, wird nun zur Selbstverständlichkeit: Der Mensch ist zu schöpferischem und selbständigem Tun befähigt. Sein kreatives Wesen wird nun anerkannt und bewundert.

5 Die Erschaffung Adams, Sixtinische Kapelle, Michelangelo Buonarroti zwischen 1508 und 1512.

6 Der David von Michelangelo, Florenz, zwischen 1501 und 1504, ist die erste Monumentalstatue der Hochrenaissance und gilt als die bekannteste Skulptur der Kunstgeschichte (Wikipedia).

Francis Bacon (1561–1626) beklagt das Leid der Menschen, Hunger, Krankheit, Katastrophen. All das, so sagt er, könnte der Vergangenheit angehören. Es brauche nur ein grundsätzliches Verständnis der Natur, man müsse sich ihr mit den Mitteln der Wissenschaft nähern, sie erforschen. Mit neuen Erkenntnissen und neuer Technik ließe sich das Leben der Menschen deutlich verbessern, ja der Mensch könne sich gar selbst Eingang ins Paradies verschaffen. In diesem Sinne ist auch der auf ihn zurückgehende Ausspruch »Wissen ist Macht« zu verstehen. Seine Gedanken zum grundsätzlichen Neuaufbau der Wissenschaften legt er im »Neuen Organon« (Bacon) vor. Die Wahl des Titels zeigt, wie sehr er von der Wirkmächtigkeit seiner eigenen Gedanken überzeugt war: Im »alten« Organon sind die Schriften Aristoteles zur Logik als Werkzeug der Wissenschaft versammelt.

Dass er voller Tatendrang auch selbst experimentierte, ist belegt. Er stopfte Schnee in tote Hühnchen, um zu sehen, ob sich ihre Haltbarkeit damit verlängern ließe. Das brachte ihm jedoch eine Lungenentzündung ein, der er wenig später erlag. Nicht belegt, aber immer wieder kolportiert, ist die Behauptung, Francis Bacon sei der eigentliche Autor der Werke William Shakespeares.

Wesentlich erfolgreicher im Experimentieren ist Galileo Galilei. Er hat die Umgebungsbedingungen genau im Blick, diskutiert ergebnisverfälschende Einflüsse und bereitet seine Experimente gründlich vor.⁷ Er bringt Empirie und Theorie zusammen und die Theologen gegen sich auf. Auf Galilei wird im Späteren noch zurückzukommen sein.

René Descartes (1556–1650) bringt die letzten Gewissheiten ins Schwanken und stellt den Zweifel an den Anfang. So vieles, was bis dahin als selbstverständlich galt, wurde bereits infrage gestellt. Worauf ist denn überhaupt noch Verlass? Doch nur auf die Feststellung, dass ich denke! Cogito ergo sum. Ich denke, also bin ich. Damit wäre dann auch ein passender Anfangspunkt

⁷ Es ist nicht ganz klar, ob sich Galileis Experimente zum freien Fall in der Realität oder nur in Gedanken abgespielt haben. Es gibt keine konkreten Aufzeichnungen mit Messwerten o. ä.

für Bacons Vision gefunden. Ab nun also keine Vermutungen oder vermeintlichen Gewissheiten mehr, nur noch Tatsachen und Logik.

Tatsachen

Für den Empiriker sind Tatsachen all jene Dinge, die wir direkt wahrnehmen können, die wir direkt sinnlich nachprüfen können. Der Wissenschaftler gewinnt seine Tatsachen aus der Beobachtung der Natur. So wird von Isaac Newton erzählt, ihm sei die Idee für die Schwerkraft sitzend unter einem Apfelbaum in den Sinn gekommen.

Man stelle sich Newton also an einem sonnigen Herbsttag sitzend unter einem Apfelbaum vor, als – plumps – ein fallender Apfel seine Aufmerksamkeit auf sich zieht. »Aha«, mag er ausgerufen haben. »Ein Apfel ist von oben nach unten gefallen, in gerader Linie dem Erdmittelpunkt zu!« Und als dann auch noch ein zweiter Apfel den gleichen Weg nahm, wird er flugs seine drei Axiome⁸, das Superpositionsprinzip der Kräfte und das Gravitationsgesetz niedergeschrieben haben und jedem war sofort einsichtig, dass die Beschleunigung unabhängig von der Masse sein muss.

Wieder eine Anekdote ohne irgendeinen historischen Beleg. Aber sie zeigt, wie der Naturwissenschaftler seine Erkenntnisse aus der Beobachtung der Natur gewinnt. Jedoch: Das Bild ist so falsch wie es schön ist. Die direkte Sinneswahrnehmung legt doch einen ganz anderen Schluss nahe:

1. Beginnen wir mit unserem Generalzeugen der Antike. Aristoteles beschreibt, wie sich schwere Körper im Wasser nach unten bewegen, leichte nach oben. Analog lässt sich

⁸ Gemeint sind die drei Grundsätze der Newtonschen Bewegungslehre (Trägheitsprinzip, Aktionsprinzip, Wechselwirkungsprinzip), die das Fundament der Klassischen Mechanik bilden und weiter unten noch erörtert werden.

- für Luft schließen, dass schwere Körper schneller fallen als leichte. Das ist einsichtig.
2. Jedes Kind wird Newtons Behauptung widersprechen wollen, kann doch wirklich jeder sehen, wie die leichte Feder lange nach dem Apfel am Boden ankommt. Und da braucht es nicht mal die Feder mit ihrem großen Luftwiderstand. Im Vergleich einer Stahlkugel mit einer identisch großen Styroporkugel kommt wiederum die Schwerere zuerst an.
 3. Wer sich jetzt noch nicht mit lauter Stimme gegen Newtons Gravitationsgesetz stellen mag, der nehme in die eine Hand einen Apfel und in die andere ein Objekt vergleichbarer Gestalt, aber aus Stahl, Blei oder Uran. Je größer der Gewichtsunterschied, desto stärker wird der mit Sinnen wahrgenommene Schmerzunterschied sein, wenn die beiden auf den Füßen zum Stillstand kommen. Offenbar war die Metallkugel deutlich schneller und konnte, einer schnellen Kanonenkugel gleich, stärker auf den Fuß einwirken.

Mitnichten ist es also die aufmerksame und unvoreingenommene Beobachtung der Natur, die den Physiker zu neuen Erkenntnissen trägt. Bestenfalls mag sie ihm einen Anfangsverdacht geben, dann aber wird mit Papier und Hirn gearbeitet. Schließlich gilt es, die erdachte Hypothese in einem Experiment zu überprüfen. Alle störenden Einflüsse, wie etwa der Luftwiderstand, gilt es zu umgehen. Wiederholbar sollten die Messungen sein, die Bedingungen definiert und die verwendeten Geräte verlässlich. Die Geschwindigkeit anhand der Schmerzempfindung eines Fußes zu bestimmen, erfüllt keines der Kriterien.

Um die Gültigkeit von Newtons Gravitationsgesetz zu demonstrieren, nehme man eine Glasröhre und gebe eine Feder und eine Erbse hinein. Nun verschließe man die Röhre und pumpe die Luft aus dieser. Hält man die Röhre jetzt senkrecht und lässt Erbse und Feder fallen, so kommen sie zeitgleich unten an. Das Experiment ist beeindruckend anzusehen und sollte jedem Schüler im Physikunterricht vorgeführt worden sein. Wenn

nicht, erzählt das viel über die Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichts an unseren Schulen.

Bevor sich der Wissenschaftler mit einer Frage an die Natur wendet, muss er sich also fragen, welche Effekte relevant sind und inwieweit verschiedene Effekte überhaupt getrennt voneinander beobachtet werden können. In der Regel ist also eine direkte Intervention erforderlich. Die interessierenden Aspekte müssen selektiert werden, die Prozesse isoliert und andere Effekte eliminiert werden. Dann sprechen wir von einem Experiment. Die empirische Wissenschaft bekommt damit eine ganz neue Bedeutung. Wir sind in der Neuzeit.

Zu wissenschaftlichen Erkenntnissen kommt man also nicht durch unvoreingenommene Beobachtung der Natur. Statt einer Umwelt, in der die Eigenschaften der Materie mannigfaltig miteinander vernetzt sind, kann der Wissenschaftler verschiedenen Messgrößen einzeln und unabhängig nachspüren. Mutig nimmt er dabei an, dass sich die im Labor isoliert erzielten Ergebnisse auf die komplexe Natur rückübertragen lassen, wo sich seine Thesen in direkter Weise gar nicht würden bestätigen lassen.

Galileo Galilei weist auf diesen Umstand schon 1638 hin. Zur Beschreibung der Flugbahn einer Kugel, die vom Tisch geschubst wird, teilt er die Bewegung in eine horizontale Transversalbewegung und eine davon unabhängige vertikale Bewegung auf. Dieses Zerlegen in eine x - und eine y -Komponente, das Denken in kartesischen Koordinaten, ist uns heute überall in Technik und Wissenschaft vertraut. In genannten Beispiel fliegt die Kugel in der Horizontalen ungebremst weiter, als würde sie weiter auf dem Tisch rollen. In der Vertikalen nimmt man eine Kugel an, die einfach losgelassen wird und von der Gravitation beschleunigt dem Erdmittelpunkt zufällt – bis sie vom Boden oder dem Fuß abrupt gebremst wird. x - und y -Bewegung zusammengenommen ergibt in der Mathematik die Gleichung einer Parabel. Galilei schreibt dazu, »dass unsere abstrakt gezogenen Schlüsse sich in Wirklichkeit anders darstellen und dermaßen falsch sein werden, dass weder die Transversalbewegung gleichförmig noch die beschleunigte Bewegung in dem angenommenen Verhält-

nis zustande kommt, ja, dass auch die Wurflinie keine Parabel sei« (Galilei et al. 86). Und weiter: »so lange wir auch nur den Widerstand der Luft berücksichtigen, so wird dieser alle Bewegungen stören, auf unendlich verschiedene Weise, da unendlich verschieden Gestalt, Gewicht, Geschwindigkeit der geworfenen Körper sich ändern könnten« (Galilei et al. 87).

Aus der direkten Naturbeobachtung wird sich also ein »Naturgesetz« niemals exakt bestätigen lassen, auch nicht aus dem Experiment unter idealisierten Bedingungen. Soweit zu den Tatsachen. Ausgeklügelte Experimente führen uns nah an die Wirklichkeit, aber niemals auf die Wirklichkeit.

Induktion – Eine Rechtfertigung

Vielleicht hilft uns das Experiment aber aus dem Dilemma mit der Induktion. Deren Fehlbarkeit war seit der Antike bekannt und die Scholastiker lehnten sie rundweg ab. Sie war kein guter Gesell bei der Suche nach der Wahrheit. Verlass war nur auf die Deduktion.

Mit dem Experiment lässt sich die Natur nun besonders wirksam und wiederholt befragen. Newton kann den Apfelbaum durch einen Birnenbaum ersetzen oder auch mal am Stamm rütteln. Es hilft, vermutete Zusammenhänge zu bestätigen und von der Hypothese zu einer belastbaren Aussage, einem (Natur-)gesetz zu gelangen. Beispielsweise: »Ein Lösungsmittel dehnt sich aus, wenn es erwärmt wird.«

Also ab ins Labor, Erlenmeyerkolben, Bunsenbrenner, Thermometer und eine Auswahl von Lösungsmitteln bereitgestellt und wissenschaftliche Aussagen generiert:

1. »Äthanol dehnte sich aus, als es erwärmt wurde.«
2. »Methanol dehnte sich aus, als es erwärmt wurde.«
3. »Hexan dehnte sich aus, als es erwärmt wurde.«
4. »Aceton dehnte sich aus, als es erwärmt wurde.«

Das ist der übliche Weg der Induktion: von einigen Fällen wird auf die Allgemeinheit aller Fälle geschlossen: Alle Lösungsmittel dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden. Der Bann der Induktion durch die Scholastiker ist damit gebrochen und die Wissenschaft hat ein Verfahren, um allgemeine wissenschaftliche Gesetze auf Grundlage einer endlichen Anzahl von Beobachtungen zu formulieren.

Aber bewiesen ist die These damit nicht, nur viermal bestätigt. Braucht es noch mehr Daten, vielleicht noch Toluol, Propanol, Tetrachlorkohlenstoff? Wird die These damit wenigstens ein bisschen »wahrer«?

Nun, die Wahrscheinlichkeit P, dass die These wahr ist, ergibt sich aus der Anzahl der beobachteten Fälle geteilt durch die Zahl aller möglichen Fälle. Nehmen wir an, dass die Chemie uns unendlich viele Lösungsmittel zu schenken vermag, teilen wir immer durch unendlich; P wird null.

$$P = \frac{\text{beobachtete Fälle}}{\text{alle möglichen Fälle}} = \frac{N}{\infty} = 0$$

Der Induktivismus führt also zu Gesetzen, die wahrscheinlich nicht wahr sind. Sollten noch ein paar Scholastiker in unsere Zeit gefunden haben, werden sie jetzt zum Jubel angesetzt haben. Aber: Alle anderen wissenschaftlichen Methoden haben mit ähnlichen Problemen zu kämpfen. Und angesichts des überwältigenden Erfolges mögen die Scholastiker jetzt demütig das Haupt senken. GPS, Polio-Schutzimpfung und der Flug nach Mallorca, all das ist der Entflechtung von Philosophie und Physik in der Renaissance zu verdanken.

Und ohne den Anspruch auf absolute Wahrheit fällt es auch leichter, überholte Theorien auch mal ins Regal der Geschichte zu stellen.

Zusammenspiel von Induktion und Deduktion

An dieser Stelle ist es Zeit, die historische Betrachtung abzuschließen und den Weg zur wissenschaftlichen Erkenntnis nochmals zusammenzufassen:

Am Anfang steht die Vermutung irgendeines Zusammenhangs, den man durch experimentelle Beobachtung zu belegen versucht. Diese endliche Zahl von Beobachtungsaussagen ist die Basis für die Induktion, die Gesetze und Theorien konstituiert; also allgemeine Aussagen, die über die gemessenen Fälle hinausreichen.

Über die Gesetzmäßigkeiten der aristotelischen Logik lassen sich nun Vorhersagen oder Erklärungen für weitere Fälle machen:

Obersatz: Alle Lösungsmittel dehnen sich aus,
wenn sie erwärmt werden
Untersatz: Benzylalkohol ist ein Lösungsmittel
Schlussatz: Benzylalkohol dehnt sich aus, wenn
es erwärmt wird

Dies ist der deduktive Schritt. Aus einer allgemeinen Aussage wird – wahrheitserhaltend – auf einen speziellen Fall geschlossen.

Umgekehrt ermöglicht die Induktion, aus dem Speziellen auf das Allgemeine zu schließen. Dies ist jedoch kein logischer Schluss und nicht beweisbar.

Falsifikationismus

Der große Erfolg der Induktion und der rasante Aufschwung der Wissenschaften ließ die Kritik an ihrer Fehlerhaftigkeit zurücktreten. Dem unbedingten Vertrauen in die Lehren von Aristoteles und Kirche folgte eine absolute Wissenschaftsgläubigkeit. Schließlich basierte die Erkenntnis in den Wissenschaften auf Tatsachen, nicht auf Glaubenssätzen. Die rasante Entwicklung

von Naturwissenschaft und Technik im 19. Jahrhundert zeugen davon. Mit Physik und Chemie war einfach alles möglich.

Aber die Tatsachen führen eben nur zu Gesetzen, die *wahrscheinlich* wahr sind. Was passiert, wenn nun doch *ein* widersprechendes Experiment die Induktion infrage stellt? Wie ist damit umzugehen, dass Theorien letztlich niemals bewiesen werden können, fragt sich Anfang des 20. Jahrhunderts der österreichische Philosoph Karl Raimund Popper (1902–1994). Dabei nimmt er in seinem Hauptwerk *Logik der Forschung* einige zu dieser Zeit populäre Theorien⁹ in den Blick, die besonders universelle Erklärungen für das menschliche Verhalten oder den Lauf der Geschichte geben. Zur Bestätigung solcher Theorien werden im Allgemeinen stets treffende Beispiele, Tatsachen, angegeben. Doch was sagt das über Theorie und Wirklichkeit aus?

Historischer Materialismus

Karl Marx sieht die Ursache aller gesellschaftlichen Veränderungen und politischen Umwälzungen in der Verteilung von Kapital und Arbeit. Die Entwicklung ist gesetzmäßig vorgegeben, das zwangsläufige Endziel ist der Kommunismus.

Individualpsychologie

Nach Alfred Adler verfolgt menschliches Handeln das Ziel, ein subjektives Gefühl der Minderwertigkeit zu überwinden. Das momentane Verhalten einer Person erklärt sich von diesem Ziel her; es gilt, den anderen zu übertrumpfen, um den eigenen Minderwert zu kompensieren.

Psychoanalyse

Sigmund Freud ergründet das Unterbewusstsein zur Erklärung der Persönlichkeit. Insbesondere vergessene Kindheitserinnerungen und Traumata wirken im Handeln fort.

⁹ Die drei genannten Theorien sind hier nur sehr verknappt und dadurch stark verzerrt dargestellt.

Allen drei Theorien ist gemein, dass sie *immer* eine Erklärung geben. Das scheint für Ihre Qualität zu sprechen und macht sie vielleicht anderen überlegen, die in bestimmten Fällen passen müssen. Genau das Gegenteil ist aber der Fall, wie ein Beispiel im Rahmen der Individualpsychologie aufzeigt: Man stelle sich einen Mann vor, der am Ufer eines Flusses stehend, ein Kind sieht, wie es ins Wasser stürzt. Welche Handlungsoptionen stehen dem Mann offen? Erste Möglichkeit: Er springt ins Wasser, um das Kind zu retten. Indem er den Mut aufbringt, überwindet er das Gefühl seiner Minderwertigkeit. Wie von der Theorie gefordert, ist der Antrieb zur Handlung in der Kompensation des eigenen Minderwerts zu sehen. Oder – zweite Möglichkeit – er gibt dem ersten Impuls nicht nach, sondern demonstriert seine Stärke, indem er gerade nicht springt. Er überwindet damit sein Gefühl der Minderwertigkeit.

Beide Handlungsoptionen lassen sich im Rahmen der Theorie nach Adler begründen. Welche Aussage über die Wirklichkeit ist dann überhaupt möglich, welche Vorhersagen lassen sich ableiten? Gibt es wenigstens *eine* Verhaltensweise, die die Theorie ausschließt? Wohl nicht; und damit verhält es sich wie in der Bauernweisheit: »Wenn der Hahn kräht auf dem Mist, ändert sich das Wetter oder es bleibt wie es ist.« Die Aussage ist immer wahr, nur über die Wirklichkeit wird nichts ausgesagt. Es ist alles möglich und nichts ausgeschlossen.

Das führt Popper zu der Erkenntnis, dass eine Theorie gerade dann gut ist, wenn sie ein bestimmtes Verhalten ausschließt. Nur dann ist eine Aussage über die Wirklichkeit möglich. Und das ist zugleich Prüfstein für jede Theorie: Tritt das eigentlich ausgeschlossene Verhalten ein, ist die Theorie widerlegt. Wichtig ist nur die *Möglichkeit* der Widerlegung, die Falsifizierbarkeit. Eine besonders gute Theorie wird allen Versuchen sie zu widerlegen widerstehen.

Die einfache Behauptung »mittwochs regnet es nie« schließt aus, dass es am kommenden Mittwoch regnet. Das ist eine sehr konkrete Aussage und wir können uns sorgenlos auf die Gartenparty bei Poppers freuen. Die Forderung nach der Falsifizierbar-

keit erfüllt sie auch, denn es ist zumindest denkbar, dass es an einem Mittwoch regnen könnte. Bis dieser Fall tatsächlich eintritt, ist es eine gute Hypothese.

Unser über die Induktion gefundenes Gesetz »Alle Lösungsmittel dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden« schließt aus, dass es irgendein Lösungsmittel geben könnte, das sich bei Erwärmung zusammenzieht oder unverändert bleibt. Das ist gut. Aber es gibt tatsächlich eine Ausnahme, die das Gesetz zu Fall bringt: Wasser hat seine größte Dichte bei 4°C, bei Erwärmung von 0°C bis 4°C nimmt das Volumen ab.

Versuchen wir etwas Robusteres: »Schwere Gegenstände, wie etwa Äpfel, fallen, wenn man sie nahe der Erdoberfläche loslässt und sie auf kein Hindernis treffen, in gerader Linie nach unten.« Ein nach oben fallender Apfel oder ein Ziegelstein, der in Zickzack-Linie dem Boden zustrebt, falsifiziert die Aussage. Beides haben wir seit Newton nicht beobachtet. Wir dürfen also annehmen, dass diese Aussage *wahrscheinlich* wahr ist.

Alle drei Aussagen machen konkrete Aussagen über die Wirklichkeit, indem sie ein bestimmtes Verhalten ausschließen. Die Geschichte kennt jedoch viele Theorien, denen genau dieses Element fehlt und die daher nicht falsifizierbar sind. Etwa: »Jedes Tier ist optimal an seine Umgebung angepasst« oder: »Schicksalsschläge sind Prüfungen oder Bestrafungen Gottes«. Hier steht jedes Verhalten der Wirklichkeit im Einklang mit den Behauptungen. Sie machen so wenig Aussagen über die Wirklichkeit wie die eingangs zitierte Bauernregel.

Wissenschaftliche Theorien sollten also Aussagen darüber machen, wie sich die Wirklichkeit tatsächlich verhält, und logisch denkbare Möglichkeiten, wie sie sich verhalten könnte, ausschließen.

Das Gesetz »Alle Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen um die Sonne« besitzt gerade deshalb einen hohen Informationsgehalt, weil es andere Umlaufbahnen ausschließt.

Qualität Wissenschaftlicher Theorien

Popper hat mit der Falsifizierbarkeit auch ein Maß für die Qualität wissenschaftlicher Theorien gefunden:

Schlechte Theorien haben keinen informativen Gehalt über die Wirklichkeit und sind nicht falsifizierbar.

Gute Theorien machen definitive Aussagen über die Wirklichkeit und sind falsifizierbar.

Bessere Theorien machen umfassendere Aussagen über die Wirklichkeit und sind vielfältiger falsifizierbar.

Schauen wir auf die Bewegung der Planeten in unserem Sonnensystem. Johannes Kepler (1571–1630) vermag ihre Bahnen mit drei Gesetzen zu beschreiben:

1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen und in einem der Ellipsenbrennpunkte liegt die Sonne.
2. Der Radiusvektor überstreicht in gleicher Zeit gleiche Flächen.
3. Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich zueinander wie die Kuben der großen Halbachsen ihrer Bahnellipsen.



Abb. 2: Darstellung der Planetengesetze auf einer Briefmarke, die Johannes Kepler 1609 in seiner *Astronomie Nova* veröffentlicht hat.

Die gleichen elliptischen Bahnen erhält man auch, wenn man die Newtonschen Gesetze zur Bewegung und zur Gravitation zur Anwendung bringt:

1. *Trägheitsprinzip:*
Jeder Körper behält seine Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung so lange bei, bis er durch äußere Kräfte gezwungen wird, seinen Bewegungszustand zu ändern.
2. *Aktionsprinzip:*
Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so wird er in Richtung der Kraft beschleunigt. Die Beschleunigung ist dabei direkt proportional zur Kraft und indirekt proportional zur Masse des Körpers.
3. *Reaktionsprinzip:*
Besteht zwischen zwei Körpern 1 und 2 eine Kraftwirkung, so ist die Kraft, die Körper 1 auf Körper 2 auswirkt, gleich der Kraft, die Körper 2 auf Körper 1 auswirkt.
4. *Superpositionsprinzip:*
Wirken auf eine Punktmasse oder einen starren Körper mehrere Kräfte, so addieren sich diese vektoriell zu einer resultierenden Kraft auf.
5. *Gravitationsprinzip:*
Die Anziehung zweier Körper aufgrund der Gravitation ist proportional zum Produkt der beiden Massen und indirekt proportional zum Quadrat ihres Abstandes.

Dank vergleichbarer Lehrpläne an allen unseren Schulen können wir gemeinschaftlich darauf vertrauen, dass wir das unabhängig von unserer jeweiligen Profession auch in der Sprache der Mathematik ausdrücken und verstehen können¹⁰:

¹⁰ Das ist natürlich eine vermessene Annahme aus der eingeschränkten Sicht des Physikers, der seinen Anspruch auf Vergessen- und Nicht-ver-

1. Sonderfall des 2. Gesetzes: $F = m \cdot a$ für $F = 0$

$$2. F = m \cdot a$$

$$3. F_{A \rightarrow B} = -F_{B \rightarrow A}$$

$$4. F_{\text{ges.}} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

$$5. F_G = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Ganz gleich, ob in Textform oder in Formeln: Obwohl beide Theorien die gleichen Bahnen vorhersagen, die gleichen Aussagen über die Wirklichkeit in diesem speziellen Fall der Planeten treffen, ist die Theorie Newtons der Keplers doch deutlich überlegen. Während das Keplersche Gesetz nur Aussagen über die Planeten unseres Sonnensystems macht und auch nur anhand von Beobachtung ebendieser Planeten falsifiziert werden könnte, sind die Möglichkeiten, die Newtonsche Theorie zu falsifizieren, schier unerschöpflich. Durch Beobachtung der Planeten unseres Sonnensystems ebenso wie durch Beobachtung beliebiger Himmelskörper, eines fallenden Apfels oder eines Uhrenpendels. Newton gewinnt.

Wissenschaftlicher Fortschritt im Falsifikationismus

Die wissenschaftliche Arbeit besteht für Popper in dem permanenten Versuch, Hypothesen zu falsifizieren. Einige Hypothesen lassen sich schnell falsifizieren und können verworfen werden. Beständige Hypothesen aber müssen noch strenger kritisiert und untersucht werden. Statt Daten für die Bestätigung zu suchen, gilt es also, die Hypothese mit aller Kraft widerlegen zu wollen. Ein gutes Beispiel ist der Versuch, die Äquivalenz von träger und schwerer Masse nachzuweisen. Damit sind die Massen in Newtons Aktions- und Gravitationsprinzip gemeint. Es scheint, dass die beiden Größen ein und das Gleiche sind. Einen

stehen-Dürfen von Schulwissen in anderen Fachdisziplinen geltend macht.

logischen Grund gibt es dafür aber nicht. In immer ausgeklügelteren Experimenten wird daher versucht, einen noch so kleinen Unterschied zu finden. Aktuell ist man bei der 13. Nachkommastelle¹¹ und neue Experimente mit Blick auf die 15. Nachkommastelle sind bereits in Planung (vgl. Grotelüsch; Holland).

Fände man nun tatsächlich eine Abweichung, so wäre die Hypothese der Äquivalenz der beiden Massen falsifiziert. Das wäre ein schwerer Schlag für Einstein und die Allgemeine Relativitätstheorie, die auf die Gleichheit baut. Und es wäre ein enormer Ansporn für die Wissenschaftler, den Gründen für die gefundene Abweichung auf die Spur zu kommen. Neue Hypothesen müssten vorgeschlagen werden, die ihrerseits wieder kritisch geprüft werden müssten. Im Falsifikationismus ist wissenschaftlicher Fortschritt ein endloser Prozess. Wissenschaft kommt nie an ein Ende, sondern akzeptiert, dass eine Theorie niemals wahr sein wird. Sehr wohl kann sie aber *besser* sein, wenn sie den Überprüfungen standhält, die die vorangegangene Theorie falsifiziert haben.

Die Kopernikanische Wende

Aber wie sieht es mit dem Falsifikationismus als Wissenschaftstheorie selbst aus? Wie sehr hält er Versuchen stand, ihn zu widerlegen? Machen wir dazu die Kopernikanische Wende zum Untersuchungsgegenstand, den Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild. Zweifellos ein wissenschaftlicher Fortschritt, aber wurde er durch Falsifikation im Sinne Poppers erreicht?

Aristoteles

In der Antike, für die wir hier Aristoteles als Generalzeugen bemühen wollen, bildet die Erdkugel den Mittelpunkt eines ku-

11 Gemeint ist das Verhältnis aus dem Unterschied von schwerer und träger Masse zur schweren Masse: $(m_2 - m_1)/m_2$. Hierfür wird aktuell ein maximaler Wert von $1:10^{13}$ angegeben (vgl. Müller).

gelförmigen und begrenzten Weltalls. Die Kugel hat dabei eine besondere Bedeutung, ist sie doch Ausdruck höchster Vollkommenheit und schönster mathematischer Proportionen. Keine Frage also, sollte die Erde einem göttlichen Schöpfungsakt entspringen, würde nur die Kugelform den Ansprüchen an die Vollkommenheit genügen – mit Folgen auch für die möglichen Bewegungen der Himmelskörper: Rotation. Vom Kreis als einzig denkbare Planetenbahn wird sich die Wissenschaft daher auch erst sehr spät lösen wollen.

Die Welt ist in zwei Bereiche geteilt, die jeweils ihren eigenen Gesetzen folgen: Die sublunare Welt mit ihren vier Elementen und die Himmelssphäre mit dem Mond, der Sonne und den Planeten. Sie bewegen sich auf kristallinen Kugelschalen, die in einem fünften Element liegen, der *Quinta Essentia*¹². Gleichförmige Kreisbewegungen für die damals bekannten Himmelskörper sind natürlich ein Muss. Umschlossen ist die antike Welt von der Fixsternsphäre. Alles dreht sich also um die Erde, jede Schale mit ihrer eigenen Geschwindigkeit.

Unterhalb der Mondbahn ist alles anders. Die Erde steht fest und das Geschehen wird von den vier Elementen Erde, Wasser, Luft und Feuer bestimmt. Jedes Ding hat darin seinen natürlichen Platz, allen voran natürlich die Elemente selbst. Im Zentrum das schwere Element Erde, darauf das Wasser, darüber die Luft. Der natürliche Platz des Elementes Feuer liegt dann noch darüber. Und so fügt sich alles: Schwere Gegenstände streben der Erde, also dem Mittelpunkt zu. Flammen züngeln stets dem Himmel entgegen, denn das ist der natürliche Platz des Feuers. Mit dieser Theorie muss auch niemand von der Erdenkugel fallen, wenn er mal nach Süden wandert. Newtons Gravitation fasst das mathematisch zwar genauer, aber eine Erklärung für den Ursprung der Gravitationskraft hat auch er nicht.

12 Der Begriff Äther wird im 18. Jahrhundert als mögliches Medium für die Ausbreitung von Licht eine Renaissance erleben.

Ptolemäus

Kann man nachts nicht schlafen und beobachtet die Planetenbahnen regelmäßig über das Jahr hinweg, ist die Bewegung nicht so gleichmäßig wie angenommen. Da die Erde sich – mit uns als Beobachter – ebenfalls um die Sonne bewegt, scheint sich etwa der Mars mal etwas schneller zu bewegen und mal läuft er gegenüber der Fixsternsphäre für einige Wochen sogar zurück. Vielleicht war diese retrograde Bewegung zunächst noch keinem aufgefallen, vielleicht hat man es auch als Täuschung abgetan, weil die Abweichung undenkbar war.

Im ersten Jahrhundert ist das Problem aber nicht mehr zu ignorieren und Claudius Ptolemäus (85–165 n. Chr.) entwirft eine mathematische Lösung für die rückläufigen Bewegungen. Dabei hält er an der Kreisbahn als Voraussetzung fest und führt sogenannte Epizykel ein. Das sind wiederum Kreisbahnen, deren Mittelpunkt auf der ursprünglichen Kugelschale umläuft. Und da auch dies noch nicht die Beobachtungsdaten genau genug wiedergibt, werden auf die Epizykeln weitere aufgesetzt. Insgesamt braucht Ptolemäus bis zu 40 solcher Epizykeln, um der Welten Lauf in den mathematischen Griff zu bekommen.

Kopernikus

Im 15. Jahrhundert wird die Welt kleiner, Christoph Columbus erreicht Nordamerika und Vasco da Gama umsegelt auf dem Weg nach Indien Afrikas Kap der guten Hoffnung. Die Sterne helfen von jeher bei der Navigation; für die Überquerung von Ozeanen ist bei der Berechnung besondere Sorgfalt angesagt. Wenn doch nur der Aufwand mit den Epizykeln nicht wäre! Nikolaus Kopernikus (1473–1543) versucht daher etwas Neues. Vielleicht lässt sich die Rechnerei vereinfachen, wenn man auch die Erde auf eine Kugelschale setzt. Dann steht sie formal zwar nicht mehr im Zentrum, aber wenn die Zahlen damit leichter in den Griff zu bekommen sind, ist es einen Versuch wert. Eine Drehung der Sonne braucht es offenbar nicht, so rückt sie in die Mitte an Stelle der Erdkugel. Mit der Kirche ist das sogar abgestimmt, handelt

es sich doch nur um einen mathematischen Kniff und keine Aussage darüber, wie die Welt tatsächlich beschaffen sei.

Von den Kreisbahnen kann jedoch auch Kopernikus nicht lassen und kommt deshalb auch nicht ohne Epizykeln aus. So richtig überzeugen kann sein heliozentrisches Weltbild damit nicht, große Astronomen wie Tycho Brahe (1546–1601) halten an der geozentrischen Idee fest.

Kepler

Anders Johannes Kepler (1571–1630), der die Kreisbahn endlich zu Gunsten der Ellipse aufgibt. Dazu nutzt er den umfangreichen Schatz an Beobachtungsdaten, den Tycho Brahe sich über die Jahre erarbeitet hat. Freilich erst nach dessen Tod, weil dieser schon ahnte, dass sich Kepler damit einen Namen machen würde, der den seinen weit überstrahlen würde.

Nun erst ist es geschafft. Die Sonne hat die Erde zu einem ihrer Trabanten gemacht.

Newton

Nun lassen sich die Planetenbahnen zwar einigermaßen genau vorhersagen, aber noch immer braucht es einen Beweger, der das Ganze am Laufen hält oder sich zumindest die Ellipse ausgedacht und gesetzmäßig verankert hat. Isaac Newton (1643–1727) betrachtet seinen Apfel und denkt bei sich: Wenn die Erde den Apfel zu sich zieht, dann doch auch die Sonne die Planeten. Ursächlich ist in beiden Fällen die Gravitationskraft: Zwei Körper ziehen sich gegenseitig wie durch ein unsichtbares Seil an. Je größer die Massen, desto größer die Kraft mit der sie zueinander gezogen werden. Welch enormen Umbruch der neu eingeführte Kraftbegriff im Denken erfordert – eine geisterhafte und unsichtbare Kraft, die durch Luft und Vakuum wirkt –, wollen wir hier nicht vertiefen. Wir erfreuen uns stattdessen daran, dass mit Newtons Theorie eine Erklärung der Ellipsenbahnen gelingt und die beobachteten Bahnstörungen durch die wechselseitigen Anziehungskräfte zwischen den Planeten erklärt werden.

Aristoteles – Ptolemäus – Kopernikus – Kepler – Newton. Mit jedem Schritt wurde die vorangehende Theorie anhand neuer Beobachtungen oder besserer Messdaten falsifiziert. An keiner Stelle wird die Theorie aber gänzlich aufgegeben und durch eine neue ersetzt. Auch die heliozentrische Theorie des Nikolaus Kopernikus wurde mehrfach falsifiziert und brauchte rund 200 Jahre um sich durchzusetzen.

Paradigmenwechsel

Wissenschaftlicher Fortschritt folgt offenbar nicht den strengen Regeln des Falsifikationismus von Karl Popper. Er erkennt, dass eine Theorie eingebettet ist in ein größeres Gedankengebilde mit Vorstellungen, wie die Welt insgesamt beschaffen ist. Thomas Samuel Kuhn (1922–1996) nennt das eine Struktur und beschreibt wissenschaftlichen Fortschritt als das Ablösen einer alten Struktur durch eine gänzlich neue. Sein Buch »Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen« von 1962 (Kuhn) ist eine Antwort auf Poppers Falsifikationismus und kritisiert die Konzentration auf die Beziehung zwischen Theorie und Beobachtungsaussagen. Vielmehr müssten soziologische und kulturelle Faktoren berücksichtigt werden. Das fängt schon bei der Wahrnehmung an. Sie ist geprägt von unseren Erfahrungen, ganz individuellen und denen, die wir mit anderen teilen.

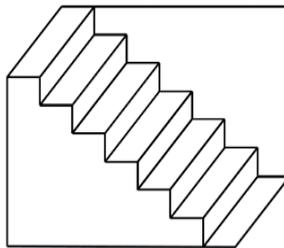


Abb. 3: Was zu sehen ist, hängt auch von unseren Erfahrungen ab (Quelle: Chalmers 9).

Beim Betrachten der Abbildung werden die meisten von uns zuerst eine Treppe erkannt haben. Jemand in einer flachen Welt ohne Treppen aber mit einer florierenden Kultur der Webkunst wird eher an ein textiles Artefakt gedacht haben (Chalmers 9). Ganz so verhält es sich auch in der Wissenschaft. In der griechischen Antike waren Kreis und Kugel für die Beschreibung des Kosmos als Selbstverständlichkeit gesetzt. Vor Newton waren Bewegungen nur durch direkten Kontakt zu initiieren, heute sind uns Kräfte und Felder zur Denkgewohnheit geworden. Dementsprechend werden Beobachtungsaussagen immer im Rahmen der gerade geltenden Theorien formuliert, Experimente werden abhängig von der Theorie gestaltet. Die gewonnenen Beobachtungsaussagen sind daher immer im Rahmen der geltenden Wissenschaft zu verstehen. Das gleiche gilt für Begriffe, die ihre Bedeutung erst durch die Theorie gewinnen. Als Beispiele seien hier der Kraftbegriff von Isaac Newton und der Feldbegriff von Michael Faraday (1791–1867) angeführt. Faraday versuchte der Beschreibung des elektrischen Feldes zunächst mit Analogien aus der Mechanik beizukommen. »Gespannte Fäden« vermittelten eine »Kraft«. Erst im Laufe der Ausarbeitung konnte der vermittelnde Äther fallengelassen werden. »Spannung« und »Feldstärke« emanzipierten sich im Elektromagnetismus von ihrem sprachlichen Ursprung (Chalmers 89).

Zur Wissenschaft gehören also weit mehr als nur die reine Theorie und passende Experimente. Vielmehr handelt es sich um eine Struktur. Wissenschaftlicher Fortschritt – gemeint sind die großen Schritte, die dann meist mit einem großen Namen verbunden werden – zeigt sich dann in der Aufgabe einer solchen Struktur zugunsten einer anderen. Dieser Umbruch ist so durchgreifend, dass Kuhn hier von Revolution spricht: Nachher ist einfach alles anders.

Schauen wir uns die einzelnen Phasen des Umbruchs an.

Vor-Wissenschaft

Manchmal wird etwas Neues entdeckt, was sich nicht recht in einem vorhandenen Theoriegebäude unterbringen lässt. Vielleicht ein bisher unbekannter Effekt, eine neue Kraftwirkung in der Physik, vielleicht eine neue Lebensform in der Tiefsee oder im All, dass sich jeder gängigen Kategorisierung widersetzt. Ein konkretes Beispiel: Im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts stellte man fest, dass ansonsten ungiftige Stoffe Zellen schädigen können, wenn sie eine bestimmte Teilchengröße unterschreiten. In der Größenordnung irgendwo zwischen Feststoff und Molekülebene ergaben sich neue Wechselwirkungen, die nur mit der Größe zusammenhängen, vielleicht auch mit der Form oder irgendwelchen anderen Parametern: Man stieß in die Welt der Nanotechnologie vor.¹³ Die chemische Zusammensetzung allein reichte zur Erklärung der Wirkung nicht aus. Viele Wissenschaftler aus unterschiedlichen Bereichen von Physik, Biologie und Chemie versuchten sich in der Ergründung der Toxizität. Aber es gab keine Blaupause für die Untersuchung. Mit welchen Methoden oder mit welcher Dosis man auf die Zellen losging, hing ganz von den Gewohnheiten der Arbeitsgruppen ab. An welchen Zellen sollten die Untersuchungen erfolgen, *in vivo*¹⁴ oder *in vitro*¹⁵? Es gab nicht mal ein Verfahren, die Teilchengröße einheitlich zu bestimmen. Wie auch, wenn man an Partikeln forscht, die 100 bis 1000 Mal kleiner als das Auflösungsvermögen eines Lichtmikroskops sind. Verschiedene Bestimmungsmethoden liefern hier verschiedene Ergebnisse, die schwer zu vergleichen sind. So sind auch die Forschungsergebnisse oftmals widersprüchlich. Kohlenstoffnanoröhrchen identifizierte der eine als

13 Der Autor war von 2004 bis 2009 Koordinator des bundesdeutschen Kompetenzzentrums Chemische Nanotechnologie am Leibniz-Institut für Neue Materialien in Saarbrücken und hat die Entwicklungen wie hier beschrieben aus eigener Anschauung begleiten können.

14 *in vivo*: Am lebenden Organismus

15 *in vitro*: Im Glas, also etwa in einer Zellkultur

stark krebserregend, der andere als harmlos. Aspektverhältnis¹⁶ und Dosis spielten zunächst keine Rolle in den Untersuchungen. Wahrscheinlich gab es zu dieser Zeit mehr Hypothesen zur Giftigkeit als mit Ihnen befasste Wissenschaftler.

Normalwissenschaft

Der wissenschaftliche Austausch ruht nicht und die Richtung, in die die Gemeinschaft der Wissenschaftler sich mehrheitlich orientiert, tritt klarer hervor. Man veranstaltet nun eigene Tagungen, die unterschiedlichen Aktivitäten werden strukturiert. Aus den vielen Annahmen der Vor-Wissenschaft kristallisiert sich ein Paradigma heraus, dass von der Scientific Community allgemein anerkannt wird.

Paradigma ist der zentrale Begriff bei Kuhn. Es bildet den Rahmen für die Normalwissenschaft und bestimmt das Vorgehen beim Lösen von Problemen und Rätseln. Durch ihre Forschung arbeiten die Wissenschaftler stetig an der weiteren Ausarbeitung des Paradigmas, ohne dass es sich konkret definieren ließe, darüber gesprochen oder diskutiert würde.

Da uns die Newtonsche Physik seit nunmehr über drei Jahrhunderten wohlvertraut und geübter Schulstoff ist, werfen wir einen Blick auf die konstruierenden Komponenten des Paradigmas.

Allgemeine theoretische Annahmen, wie »Alle Körper im Universum ziehen sich gegenseitig an« und »Alle Körper haben eine Masse«, werden in allen Überlegungen als unabdingbare Voraussetzung bedacht. Dabei bedarf es keines Nachweises; das Ausbleiben einer Falsifikation über all die Jahrhunderte schafft Vertrauen in die Aussage.

Explizit formulierte Gesetze wie die Proportionalität von Kraft und Beschleunigung $F = m \cdot a$ oder von kinetischer Energie und

16 Das Verhältnis von Länge zu Durchmesser einer Faser. Das ist auch die kritische Größe bei der Beurteilung von Asbest. Werden die Fasern zu lang, können sie nicht mehr von den Fresszellen vollständig umschlossen werden und verbleiben dann in der Lunge. Analog gilt das für Kohlenstoffnanoröhrchen (Carbon Nano Tubes – CNT).

dem Quadrat der Geschwindigkeit $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$ sind grundlegend für die Newtonsche Mechanik. Es sind aber auch die damit beschriebenen Konzepte selbst, die das Paradigma ausmachen: Die Vorstellung einer Kraftwirkung und einer dem bewegten Körper eingeschriebenen Energie. Diese Begriffe erhalten ihren Inhalt erst durch das Paradigma und können nur innerhalb desselben auch verstanden und sinnvoll angewandt werden. Das wird unmittelbar klar, wenn ein Physiker und ein Esoteriker in einem zwanglosen Gespräch den Energiebegriff verwenden. Nach anfänglichen Missverständnissen steht schnell der gegenseitige Vorwurf der missbräuchlichen Aneignung im Raum. Das ist nicht verwunderlich, sind beide Gesprächspartner doch in gänzlich anderen Paradigmen unterwegs, ohne sich dessen explizit bewusst zu sein.

Auch über standardmäßige Wege für die Anwendung grundlegender Gesetze besteht unausgesprochene Einigkeit. Im Physikunterricht lernt man, dass die Gravitationskonstante über einen Pendelversuch bestimmt werden kann, wohl begleitet von den immer gleichen Gedankenexperimenten und Prüfungsfragen zur Messung auf dem Mond. Auch die Experimente in den physikalischen Praktika im Physikstudium sind wohl überall auf dem akademischen Erdenrund vergleichbar gestaltet. So wird das Paradigma gefestigt.

Und ebenso besteht große Einigkeit über das Instrumentarium und die instrumentellen Techniken, die zur Anwendung der Gesetze auf die Realität zur Anwendung kommen. So gilt das Teleskop als probates Mittel der Planetenbeobachtung. Ob klein, ob groß, ob mit Spiegel oder nicht, ob in der chilenischen Atacamawüste¹⁷ oder 1,5 Millionen km über der Erde¹⁸. Grö-

17 Das Extremely Large Telescope (ELT) der Europäischen Südsternwarte ESO wird mit einem Spiegel von 39 m Durchmesser das größte optische Teleskop der Welt sein, wenn es voraussichtlich ab 2027 vom 3060 m hohen Cerro Amazonas ins Weltall blicken wird.

18 Das James-Webb-Weltraum-Teleskop (JWST) hat 2022 seinen Platz in der Nähe des sogenannten Lagrangepunktes L2 gefunden. Hier sind (verkürzt gesagt) die Gravitationskräfte von Sonne und Erde so aus-

ßen- und Helligkeitsverhältnisse werden stets korrekt wiedergegeben.

Dass dies funktioniert, basiert auf einer weiteren Annahme, die sich durch nichts beweisen lässt, aber innerhalb des Paradigmas ungemein wichtig und nützlich ist: Im ganzen Universum gelten die gleichen Gesetze. Ob auf der Erde, auf dem Mond oder in einer weit entfernten Galaxie: Die Newtonsche Mechanik und die Gesetze der Gravitation sind verlässliche Partner der Normalwissenschaft. Das aber ist pure Metaphysik und wird dennoch nicht hinterfragt. Innerhalb des Gedankengebäudes mag es plausibel sein, dass die Lichtgeschwindigkeit räumlich und durch alle Zeiten der Entwicklung des Kosmos konstant ist, aber es bleibt eine unbeweisbare Annahme und zugleich tragende Säule des Paradigmas.

Bis hierhin ist Kuhn noch in guter Übereinstimmung mit Popper und die Idee der Wissenschaft als Struktur noch nicht plausibel begründet. Nun aber formuliert Kuhn verschiedene Anforderungen, denen das Paradigma gewachsen sein muss und die die Vorstellung wissenschaftlichen Fortschritts klar von der Poppers abgrenzen.

Zunächst einmal müssen Paradigmen hinlänglich unpräzise und offen sein, damit Forschung möglich bleibt. Auch müssen sie alle Mittel bieten, die zur Lösung eines Rätsels benötigt werden. Denn die Lösung von Rätseln, also beispielsweise Messwerten, die zunächst nicht mit den bisherigen Vorstellungen in Einklang stehen, ist doch die vielleicht wichtigste Triebfeder der Forschenden.

Wenn die Realität sich anders zeigt als vorhergesagt, muss das Paradigma also angepasst werden. Das ist ein normaler Prozess in der Normalwissenschaft, ohne dass dabei die Komponenten des Paradigmas gleich infrage gestellt würden.

balanciert, dass ein Satellit der Erde stabil folgen kann, obgleich die Umlaufbahn ja weiter von der Sonne entfernt ist. Anders als dem Hubble-Weltraumteleskop, das die Erde alle 95 Minuten in 550 km Höhe umkreisen musste, bleiben dem JWST damit die ständigen Sonnenauf- und -untergänge erspart.

Anders sieht es aus, wenn sämtliche Anpassungsversuche beharrlich fehlschlagen und eine Erklärung nicht mehr mit den bewährten Mitteln oder ohne Aufgabe wichtiger Grundannahmen möglich ist.

Krise

Zunächst gibt es keinen Anlass, dem Paradigma in dieser Situation zu misstrauen oder gar für den Misserfolg verantwortlich zu machen. Der Schreiner sucht die Schuld für ein misslungenes Werkstück ja auch nicht bei seinem Werkzeug. Die Abweichung, die nicht weichen will, wird zur Anomalie erklärt und bietet reizvolle neue Forschungsaufgaben.

Man werfe exemplarisch einen forschenden Blick auf Lösungsmittel und deren Dichte. Schnell erkennt man ein einfaches Muster: Mit zunehmender Temperatur nimmt die Dichte ab. Bei Aceton, Hexan, Toluol, Methanol und vielen weiteren ist die Forderung erfüllt; auch bei Ethanol, der in Bier, Wein und Schnaps uns gern den Geist vernebelt. Einzig Wasser macht hier eine Ausnahme: Zwischen null und vier °C nimmt die Dichte zu, bevor sie dann ebenfalls abnimmt.

Mit der Anomalie beim Wasser wird die Theorie zum Dichteverhalten von Lösungsmitteln klar falsifiziert, die Folgen sind aber nicht so dramatisch, wie von Popper angenommen. Statt die Theorie zu verwerfen, wird versucht, das Rätsel innerhalb des Paradigmas zu lösen. Erst wenn klar wird, dass das nicht funktioniert und die Misserfolge bedenklich werden, tritt eine Krise auf.

Nun erst steht das Vertrauen in das Paradigma auf dem Spiel. Zunächst kommen Einzelne ins Zweifeln, dann immer mehr. Ein neues Paradigma entsteht, wenn ein in die Krise tief verstrickter Wissenschaftler mit einer gänzlich neuen Idee auf den Plan tritt. In seiner Verzweiflung gibt er vielleicht eine Grundannahme auf, die bisher konstituierenden Charakter hatte und nie infrage gestellt wurde. Einfach mal einen neuen Weg ausprobieren, auch wenn man zunächst einfach nur aus der Sackgasse möchte und gar nicht an einen tatsächlichen Fortschritt dabei denkt.

So entsteht ein neues Paradigma, das sich aber wesentlich vom alten unterscheiden, in der Regel sogar unvereinbar mit diesem sein wird. Man denke nur an die Zweiteilung und Abgeschlossenheit der Welt bei Aristoteles, die sich mit unserer heutigen Vorstellung vom Kosmos mit einheitlicher Physik deutlich unterscheidet. Giordano Brunos (1548–1600) Vorstellung eines unendlichen Weltalls ohne definiertes Zentrum, aber mit vielen Sonnen und Planeten, war für die Anhänger des antiken Paradigmas so unerträglich abseitig, dass er 1600 auf dem Scheiterhaufen verbrannt wurde¹⁹.

Als Galilei ein Jahrzehnt später sein Fernrohr auf die Jupitermonde richtete, konnte er wohl kaum jemanden von seinen Daten überzeugen, der noch im alten Paradigma verhaftet war. Wie kommt der Mann nur auf die Idee, mit einem Gerät, das seine Vergrößerungswirkung *auf der Erde* messbar unter Beweis gestellt hat, Daten in den himmlischen Sphären sammeln zu wollen? Wo doch einem jedem vernünftigen Wesen klar sein muss, dass die Kristallschalen nur dann die Erde umspielen können, wenn die Physik dort anderen Regeln folgt. Die Anhänger verschiedener Paradigmen leben eben in verschiedenen Welten. Vielleicht waren die retrograden Planetenbewegungen in der Antike schlicht nicht aufgefallen, weil sie nicht denkbar waren. Oder sie waren als Anomalien akzeptiert.

Revolution

Die Wissenschaftlerin oder der Wissenschaftler mit der unkonventionellen Idee – sie fällt buchstäblich aus dem Rahmen des gängigen Paradigmas – steht nun außerhalb, geht neue Wege, findet einen neuen Rahmen für ihre resp. seine Gedanken. Zusammenhänge erscheinen in einem anderen Licht, vorher offene Fragen schließen sich. Das ist vergleichbar mit einer religiösen Konversion; ein Zurück ist danach kaum denkbar.

¹⁹ Nach 400 Jahren wurde er 2000 von Papst Johannes Paul II. rehabilitiert, was erstaunlich ist, hat er doch beharrlich an seiner Ablehnung der Gottessohnschaft von Jesus Christus und dem Jüngsten Gericht festgehalten.

Mit dem Blick von außen ist eine objektive Beurteilung dieser nun gegeneinanderstehenden, unvereinbaren Paradigmen nicht möglich. Denn wenn die (metaphysischen) Grundlagen schon wechselseitig nicht anerkannt werden und nur innerhalb der jeweiligen Struktur stichhaltig und notwendig erscheinen, sind für einen Dritten logische Argumente für die Überlegenheit der einen Sicht nicht anzugeben.

Für jeden Einzelnen wird es nun darauf ankommen, welche Bedeutung er den einzelnen Faktoren zumisst. Ist die Idee der Kreisbahn für mich so wichtig und die einer Ellipse so abwegig, dass ich weiter die Mühsal der Epizykelberechnungen auf mich nehme? Oder kann ich mich völlig ohne physikalische oder metaphysische Begründung auf Keplers Bahnbeschreibungen einlassen? Sicher kann man streiten, ob es einfacher ist, Kreisbahnen miteinander zu koppeln oder elliptische Bahnen zu berechnen. Vergessen wir aber nicht, dass der Mensch ein Wesen ist, das immer nach Gründen sucht. Das gehört zur evolutorisch erlangten Fähigkeit des planhaften Handelns dazu. Die Kreisbahn war seit über tausend Jahren mit Gottes Wille begründet worden. Ein starkes Argument und dazu schlüssiges in dieser Zeit! Wer von uns also wäre fröhlich mit Kepler ins Nichts gesprungen?

Zum Nachdenken mag an dieser Stelle die Frage anregen, ob wir selbst, jeder für sich, Alternativen zur Sozialen Marktwirtschaft denken können, ohne uns immer wieder in den Grundannahmen der uns so verinnerlichten Struktur zu verheddern? Andere Modelle lassen sich bestenfalls phantasievoll nennen, sind aus unserer gefestigten Perspektive aber stets zum Scheitern verurteilt. Oder wir haben schon eine andere Gedankenheimat betreten und können über die Irrgläubigen des alten Paradigmas nur den Kopf schütteln.

Gleichwie, wenn die neuen Ideen Perspektiven für die Lösung bisheriger Probleme gibt und Anomalien sich nun gar nicht mehr als abweichend, sondern von der neuen Theorie gut vorhersagen lassen, werden die fachwissenschaftlichen Bindungen sich mehr und mehr verlagern. Wenn dann die Mehrheit der

Scientific community das alte Paradigma zugunsten des neuen fallen lässt, ist der Paradigmenwechsel²⁰ vollzogen. Und da es keine zwingend logischen Gründe für den Wechsel gibt, wird es auch immer Menschen geben, die sich nicht von der alten Struktur lösen werden. Diese Andersgläubigen werden früher oder später von der Wissenschaftlergemeinschaft ausgeschlossen. Ihre Beiträge passen nicht mehr zu den Tagungen und Publikationen des neuen Paradigmas.

Im Bereich der Erforschung des Klimawandels zeigt sich eindrücklich die Kampfkraft der alten Recken, die bis in den Tod²¹ gegen die Standardwissenschaft zu Felde ziehen und zunächst jeden Wandel, dann den Menschen als Treiber nicht gelten lassen wollten. Diese hier verwendete despektierliche Formulierung zeigt, wie unversöhnlich die Anhänger der verschiedenen Paradigmen einander gegenüberstehen. Im Anblick der – aus meiner Sicht – erdrückenden naturwissenschaftlichen Faktenlage zum Klimawandel ist es mir unerträglich, wenn deren – in meinem Paradigma falschen – Argumente in sozialen Medien, der Presse und politischen Strömungen eine Plattform finden. Aber von außen, von journalistischer Seite, ist nach Kuhn kein objektiver Maßstab für die Richtigkeit zu geben.²²

20 Im englischen Original und in der Übersetzung wird stets der Begriff *paradigm shift* respektive *Paradigmawechsel* benutzt, was den Vorgang natürlich besser beschreibt. Schließlich wird ein Paradigma durch ein anderes ersetzt. Im Allgemeinsprachlichen hat sich jedoch der *Paradigmenwechsel* durchgesetzt.

21 Von den elf Fachbeiratsmitgliedern auf der Seite des Europäischen Institut für Klima und Energie, einem Sammelplatz für sog. Klimaleugner, sind zehn bereits im Ruhestand, sieben von ihnen blicken auf mindestens 80 Jahre Lebenserfahrung zurück (abgerufen am 01.07.2023). Noch 2020 wurde der bereits 2016 im Alter von 94 Jahren verstorbene Prof. Gerhard Hosemann in dieser Liste geführt.

22 Diesen Streit auf Kuhns Rücken auszutragen, ist in diesem Falle natürlich überzogen. Beide Seiten stützen sich auf Logik, Messdaten und die gleichen wissenschaftlichen Methoden. Im Hintergrund liegt nicht der wissenschaftliche Streit, sondern eine politische Agenda zur Frage, wie wir leben wollen. Je nach Perspektive werden bestimmte Ergebnisse da-

Anarchie

Das ist höchst unbefriedigend. Wenn die Wissenschaftstheorie selbst den Anspruch einer Wissenschaft für sich erhebt, so sollte sie Vorhersagen machen und nicht nur die Vergangenheit interpretieren. Das hatte ja Popper bereits klar adressiert: Theorien, die nichts ausschließen und jedwede Entwicklung erklären wollen, machen keine Aussagen über die Wirklichkeit.

Hier tritt, als letzter in unserem Parforceritt durch die Geschichte, Paul Karl Feyerabend (1924–1994) auf. Oder sagen wir besser: er betritt die Arena. Mit »Wider den Methodenzwang« sorgt er 1975 für Aufsehen, denn er greift die Wissenschaftstheorie auf ganzer Breite an. Seine Hauptkritik richtet sich gegen den Mangel an Kriterien für den Wechsel. Aus seiner Sicht besteht das Grundproblem der üblichen Wissenschaftstheorien darin, dass der wissenschaftlichen Methode ein besonderer Status beigemessen wird; keine Methode sei der wissenschaftlichen vergleichbar. Tatsächlich aber, so seine bewusst provokant²³ gesetzte These, weise die Wissenschaft keinerlei Merkmale auf, die sie notwendiger Weise anderen Erkenntnisformen gegenüber überlegen mache.

Zum Nachweis wirft er einen strengen Blick auf die historischen Beispiele wissenschaftlicher Veränderungen, die von anderen als klassische Fälle wissenschaftlichen Fortschritts angesehen werden. Er ändert jedoch die Perspektive und zeigt, dass die Änderungen gar nicht mit den Wissenschaftstheorien übereinstimmen, zu deren Bestätigung sie gelten sollten.

Hier kommen wir noch einmal auf Galilei zurück. 1610 hatte er mit seinem Fernrohr vier seltsame Lichtpunkte in der Nähe

für ignoriert, uminterpretiert oder überhöht.

23 Ursprünglich wollte Feyerabend gemeinsam mit dem Wissenschaftstheoretiker Imre Lakatos (1922–1974 n. Chr.), für den in diesem Text leider kein Platz mehr ist, eine Art Streitgespräch zum Falsifikationismus und anderen Methoden verfassen. Nach dem Tod des Freundes veröffentlicht Feyerabend die Polemik als Monografie, was seinen Positionen eine vielleicht gar nicht so beabsichtigte Schärfe und Absolutheit verlieh.

des Jupiters entdeckt. Anstatt sich Ptolemäus und dem Geozentrismus zu unterwerfen, umkreisten sie den Wandelstern offenbar als Monde. Das war für die Vertreter des alten Weltbildes schon unerhört. Aber im gleichen Jahr beobachtet er auch den Lauf der Venus und bemerkt, dass Sie Phasen zeigt, wie wir sie vom Mond kennen. Daraus schloss er, dass Venus und Erde um die Sonne kreisen, wie der Erdenmond um die Erde.

Interessant sind nun die Details: Durch den unterschiedlichen Lauf von Venus und Erde verändert sich auch die Entfernung der Venus vom Betrachter im Jahresverlauf, deren Größe wird sich also aus rein geometrischen Gründen ebenfalls verändern. Tatsächlich war die Größenänderung beobachtbar und bekannt. Die Daten passten aber nicht zu den mit dem Teleskop gewonnenen. Worauf sollte man sich nun verlassen? Auf den wohl erprobten und durch Geräte unverfälschten Sehsinn; unser Auge, das in der Vergangenheit stets ein verlässliches Instrument zur wissenschaftlichen Beweissicherung war? Oder auf eine Röhre, in die vorne und hinten je eine handgeschliffene Linse eingesetzt worden war, ohne auf eine verlässliche Theorie zur geometrischen Optik bauen zu können?

Worin Feyerabends Vorgänger einen wissenschaftlichen Fortschritt sehen, kann an dieser Stelle tatsächlich als Bestätigung der Zweigeteiltheit der Welt gelten: Das Galilei-Fernrohr mag auf der Erde treffliche Daten liefern, für extraterrestrische Objekte ist es nicht zu gebrauchen.

Dass das Auge bei der Größeneinschätzung von kleinen hellen Punkten regelmäßig falsche Ergebnisse liefert – nicht das Teleskop – kann nur mit der modernen Kenntnis der Physiologie des Auges begründet werden. Zur damaligen Zeit war eine Verteidigung des Fernrohrs und der gewonnenen Messdaten kaum möglich.

Dennoch setzt sich das neue Weltbild durch und Feyerabend schreibt: *»Galilei behält wegen seines Stils und seiner geschickten Überredungsmethoden die Oberhand, weil er auch in Italienisch und nicht nur in Lateinisch schreibt und weil er sich an Leute wendet, die gefühlsmäßig gegen die alten Ideen und die mit ihnen*

verbundenen Maßstäbe der Gelehrsamkeit eingenommen sind« (Feyerabend 184).

Das ist nun ein ganz neuer Aspekt in der Wissenschaftstheorie: Fortschritt durch Propaganda. Feyerabend lehnt daher fixe Regeln für den Erkenntnisfortschritt insgesamt ab und stellt ein »Anything goes« (Feyerabend 32) als Grundsatz in den Raum. Der Titel seines Buches lautet denn auch »Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge«²⁴.

Lassen wir Paul Feyerabend zum Abschluss unserer Reise durch 2500 Jahre Wissenschaftstheorie noch ein wenig provozieren. Der hohe Status, der Wissenschaft in unserer Gesellschaft zugewiesen werde, sei nicht gerechtfertigt. In dieser Hochachtung sieht er ein Dogma, dessen repressive Rolle mit der Kirche des 17. Jahrhunderts durchaus zu vergleichen sei. Eine Überlegenheit gegenüber Marxismus, Schwarzer Magie und Voodoo sei schlicht nicht gegeben.

In der Schule könnten Eltern wählen, welche Religion gelehrt werden soll. Physik, Astronomie und Geschichte seien aber gesetzt und könnten nicht durch Magie, Astrologie und Sagen ersetzt werden. Es sei daher Zeit für »die Befreiung der Gesellschaft aus dem Würgegriff einer ideologisch erstarrten Wissenschaft« (Feyerabend 395).

Ganz sicher meinte er damit nicht die Zerschlagung jedweder faktenbasierten Anschauung im Stile eines Donald Trump.

24 Die deutsche Übersetzung verkürzt den Buchtitel auf »Wider den Methodenzwang«. Vielleicht wäre »Entwurf einer anarchistischen Wissenschaftstheorie« im Zeichen von bundesdeutscher RAF-Erfahrung und Radikalenerlass in den 1970ern sprachlich in die falsche Richtung gewiesen.

Literatur

- Aristoteles: *Metaphysik*. Übersetzt von Friedrich Bassenge, De Gruyter, 2022. www.degruyter.com, <https://doi.org/10.1515/9783112591468>.
- Bacon, Francis: *Neues Organon*. Übersetzt von J. H. von Kirchmann, 1. Auflage, L. Heimann, 1870, <https://www.projekt-gutenberg.org/bacon/organon/>.
- Brockhaus-Enzyklopädie*. 19: *Rut - Sch*. 19. Aufl., Bd. 19, Brockhaus, 1992.
- Chalmers, Alan F.: *Wege der Wissenschaft: Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Springer, 1986.
- Feyerabend, Paul: *Wider den Methodenzwang*. Suhrkamp, 1983.
- Kuhn, Thomas S.: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. 4. Aufl., Suhrkamp, 1979.
- Luther, Martin: *Der Ander Teil aller deudscher Bücher vnd Schrifften des thewren, seligen Mans Gottes Doct. Mart. Lutheri ...* Thomas Rebarts selige nachgelassene Erben, 1572. Google Books, <https://books.google.de/books?id=LnOyNV195egC>.
- Mason, Stephen Finney: *Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen*. Verl. für Geschichte der Naturwiss. und der Technik, 1997.
- Müller, Andreas: *Äquivalenzprinzip*. <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/aequivalenzprinzip/21> (11. Juli 2023).
- Platon: *Kratylos, Parmenides, Theaitetos, Sophistes, Politikos, Philebos, Briefe*. Übersetzt von Friedrich Schleiermacher u. a., 38. Aufl., Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2018.
- Russell, Bertrand: *The Basic Writings of Bertrand Russell, 1903-1959*. Psychology Press, 1992.
- Weischedel, Wilhelm: *Die philosophische Hintertreppe: 34 große Philosophen im Alltag und Denken*. 22. Aufl., Nymphenburger, 2001.